

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Jenis-Jenis Pemanas air

Pada dasarnya, semua alat pemanas memiliki fungsi yang sama, yaitu memanaskan air. Hal utama yang membedakan diantara berbagai jenis pemanas air adalah sumber energi timbulnya panas yang digunakan untuk memanaskan (meningkatkan suhu) air. Di era modern saat ini dengan teknologi yang telah berkembang dengan pesat, alat pemanas air semakin praktis penggunaannya dan harganya pun semakin lama semakin murah. Ada berbagai macam alat pemanas yang bisa kita temui, di antaranya :

2.1.1 Electric Water Heater

Electric Water Heater adalah alat pemanas air yang mengandalkan energi listrik untuk menghasilkan panas. Memiliki prinsip dasar sama seperti setrika listrik, hair dryer dan alat listrik lainnya yang menghasilkan panas. Terdapat dua macam electric water heater, yaitu dengan tangki dan tanpa tangki. Pemanas air listrik dengan tangki memiliki variasi harga yang ditentukan oleh besarnya ukuran tangki. Semakin besar kapasitas tangki, umunya semakin mahal. Jenis yang lain adalah pemanas air listrik tanpa tangki. Kelemahan utama dari alat pemanas jenis ini adalah konsumsi daya listrik yang cukup besar, sekitar 2000 watt. Namun di pasaran juga beredar pemanas air listrik tanpa tangki dengan kebutuhan daya sekitar 300 watt. Akan tetapi, diperlukan waktu sekitar 3 – 4 menit untuk mendapatkan air panas jika menggunakan alat ini.

Salah satu kekhawatiran dalam penggunaan pemanas air listrik adalah terjadinya kecelakaan akibat kesetrum. Sebenarnya di semua pemanas air listrik selalu disertakan pengaman anti kontak MLCB (Main Line Circuit Breaker) yang gunanya memutus aliran listrik jika terjadi korsleting atau

kesetrum. Akan tetapi, kasus kecelakaan terjadinya kesetrum saat mandi dengan pemanas air listrik bukanlah hal yang tidak pernah terdengar.

2.1.2 Gas Water Heater

Gas Water Heater adalah alat pemanas air yang mengandalkan energi dari pembakaran gas elpiji, dikenal dengan gas heater, biaya gas elpiji untuk masa sekarang ini relatif murah (dibandingkan harga listrik).

Gas water heater mempunyai bentuk persegi yang tidak terlalu besar, namun juga tidak terlalu kecil. Ciri-cirinya diatas pemanas air ini ada lubang silinder yang berfungsi sebagai cerobong asap (kenalpot) untuk membuang asap hasil pembakaran. Jangan takut mendengar istilah cerobong asap karena sesungguhnya tidak terlihat ada asap apapun yang keluar dari ini, hanya saja karena cara bekerjanya adalah membakar air yang melewatinya, tetap diperlukan cerobong asap tersebut. Dari segi keamanan, perlu disiapkan ventilasi yang cukup di dalam kamar mandi. Karena alat pemanas ini membutuhkan oksigen untuk pembakaran, agar pembakaran sempurna dan tidak menimbulkan gas beracun berupa karbon monoksida. Jadi, penggunaan alat pemanas jenis ini di ruang kamar mandi yang tertutup rapat sangat tidak dianjurkan, karena bisa membahayakan penggunaanya.

2.1.3 Solar Water Heater

Solar Water Heater adalah alat pemanas air yang mengandalkan energi surya matahari yang dikenal dengan istilah solar panel, karena menghasilkan air panas. Pemanas air jenis ini selalu dilengkapi dengan tangki yang berukuran sangat besar karena matahari energi pemanasnya tidak bisa didapat selama 24 jam. Tangki yang besar itu gunanya untuk menampung air panas yang cukup untuk dikonsumsi untuk sekian orang dalam satu rumah.

Sekali terpasang, pemanas air jenis ini nyaris tanpa perawatan dan tidak keluar biaya operasional apapun lagi karena cukup disinari matahari saja (kecuali anda sering berada dalam kondisi darurat tanpa matahari,

maka konsumsi listrik akan bertambah). Kekurangan utama alat pemanas jenis ini adalah harganya mahal, belasan hingga dua puluhan juta tergantung pada kapasitas tangki penyimpanannya, diluar ongkos pasang yang juga relatif mahal. Alat ini perlu dipasang di tempat yang tinggi, tidak terhalang bangunan / pohon agar bisa menerima paparan sinar matahari secara maksimal.

2.2 Energi Matahari

Sinar matahari sebagai sumber energi utama yang luar biasa besarnya memancarkan energi ke permukaan bumi. Pada cuaca cerah, permukaan bumi menerima lebih dari 1000 W/m² energi matahari. Energi matahari merupakan energi terbarukan yang melimpah, bebas polusi dan dapat dimanfaatkan secara optimal. Indonesia menerima energi matahari yang radiasi energy harian rata-rata sebesar 4,8 KWh/m² (Duffie, 1980).

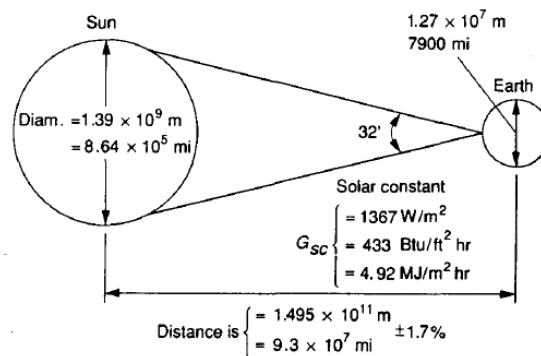
Indonesia yang terletak di daerah tropis sangat cocok dan berpotensi dalam mengembangkan energi matahari, sehingga diperlukan upaya-upaya pengembangan teknologi yang mampu mensuplai kebutuhan energi pengganti dan mampu mengurangi masalah yang berkaitan dengan isu lingkungan, salah satu diantaranya sumber energi terbarukan yang berasal dari rekayasa energi matahari.

Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai penyedia energi melalui duamacam teknologi, yaitu energi matahari termal dan fotovoltaik. Energi matahari termal diperoleh dengan cara mengkonversikan energi radiasi cahaya matahari menjadi panas sehingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai kegunaan dengan menggunakan kolektor surya. Kolektor surya dibagi menjadi 3 jenis yaitu, pelat datar, konsentrik, dan *evacuated reciever*. Kolektor surya tipe pelat datar adalah kolektor surya yang dapat menyerap energi matahari dari sudut kemiringan tertentu sehingga pada proses penggunaannya dapat lebih mudah dan lebih sederhana.

Menurut Duffie keuntungan utama dari sebuah kolektor surya pelat datar adalah bahwa memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari dan juga karena desainnya yang sederhana, hanya sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah. Pada umumnya kolektor jenis ini digunakan untuk memanaskan ruangan dalam rumah, pengkondisian udara, dan proses-proses pemanasan dalam industri (Duffie, 1980)

Pada umumnya kolektor surya pelat datar adalah perangkat yang mampu menangkap panas matahari untuk memanaskan suatu media yang kemudian penangkap panas tersebut mengubah menjadi energi kalor yang berguna. Energi kalor yang dihasilkan sangat tergantung kepada unjuk kerja dari kolektor surya itu sendiri. Unjuk kerja kolektor surya didefinisikan sebagai perbandingan antara panas yang dipindahkan oleh kolektor surya ke media fluida terhadap kuantitas pancaran energi dari radiasi cahaya matahari yang diterimanya

Radiasi yang diemiskan matahari dan ruang angkasa ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer. World Radiation Center (WRC) mengambil nilai konstanta matahari (G_{sc}) sebesar 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1%.



Gambar 2.1 Hubungan Bumi Dengan Matahari
(Duffie, 1980).

Pada gambar 2. 1 yaitu hubungan antara bumi dan matahari memiliki jarak yang disebut dengan jarak eksentris dimana memiliki variasi sebesar 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata antara bumi dan matahari adalah $1,495 \times 10^{11} \text{ m}$ dengan sudut kecenderungan matahari 32° memiliki nilai konstanta matahari (GSC) sebesar 1367 W/m^2 . Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara $1,47 \times 10^8 \text{ km}$ dan $1,52 \times 10^8 \text{ km}$ dan hasilnya besar pancaran E_0 naik turun antara 1325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$. Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai 1000 W/m^2 di permukaan bumi. Insolation terbesar terjadi pada sebagian hari-hari yang berawan dan cerah. Sebagai hasil dari pancaran matahari yang memantul melewati awan, maka insolation dapat mencapai hingga 1400 W/m^2 untuk jangka pendek.

2.2.1 Lintasan matahari

Tabel 2.1 Parameter untuk perhitungan surya pada setiap tanggal 21 setiap bulan (Ir Darwin Sitompul M.Eng)

Tabel 2.5 Parameter untuk perhitungan surya (pada setiap tanggal 21 setiap bulan)

Bulan	Januari	Pebruari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Hari dari tahun	21	52	80	111	141	173	202	233	265	294	325	355
Deklinsi, derajat	-19,9	-10,6	0,0	+11,9	+20,3	+23,45	+20,5	+12,1	0,0	-10,7	-19,9	-23,45
Peramaan waktu, menit	-11,2	-13,9	-7,5	+1,1	+3,3	-1,4	-6,2	-2,4	+7,5	+15,4	+13,8	+1,6
Siang surya	Lambat			Dini		Lambat			Dini			
A. Btu/h· kaki ² †	390	385	376	360	350	345	344	351	365	378	387	391
B. l/m	0,142	0,144	0,156	0,180	0,196	0,205	0,201	0,177	0,160	0,149	0,149	0,142
C. tak berdimensi	0,058	0,060	0,071	0,097	0,121	0,134	0,136	0,122	0,092	0,073	0,063	0,057

† A ialah iradiasi surya nyata pada massa udara nol setiap bulan.

B ialah koefisien kepunahan atmosfer.

C ialah angka perbandingan difusi dengan iradiasi normal langsung pada sebuah permukaan horisontal.

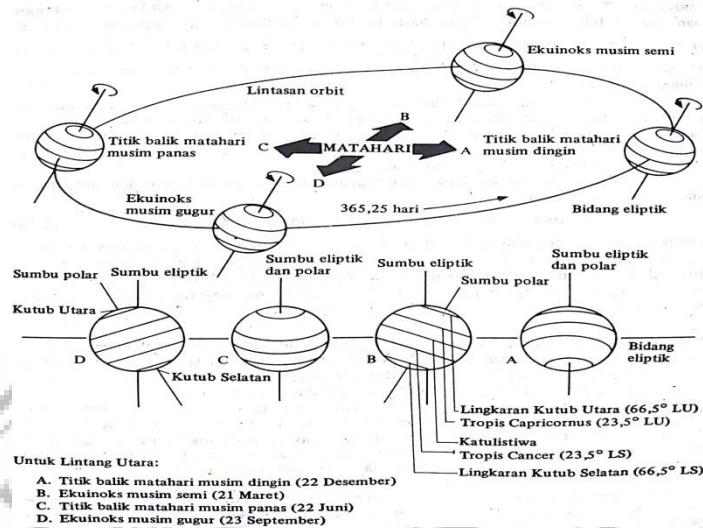
Dumut dengan izin dari ASHRAE, "Handbook and Product Directory", Aplikasi volume 1974.

Sumbu rotasi bumi adalah selalu miring sebesar $23,45^\circ$ dari garistegak lurus terhadap bidang ekliptik. Bidang ekliptik ialah bidang perjalanan bumi ketika ia melintasi matahari. Sumbu rotasi bumi pada daarnya adalah bersifat searah terhadap sebuah bintang tetap dan inklinasi dari sumbu polar menyebabkan bumi kelihatannya seperti “terhuyung-huyung” terhadap matahari ketika ia bergerak mengelilingi matahari. Fenomena ini ditunjukkan pada gambar 2.2 ini menimbulkan variasi musim dan menimbulkan pula sudut surya yang penting yang diberi nm sudut deklinasi δ .

Sudut deklinasi didefinisikan sebagai suatu sudut antara sinar matahari dan garis tegak lurus terhadap sumbu polar dalam bidang sinar matahari. Untuk garis lintang utara, δ berkisar dari 0° pada ekuinoks (waktu siang dan malam sama panjangnya) musim semi $+23,45^\circ$ pada waktu titik balik matahari musim panas (22 juni), ke 0° pada waktu ekuinoks musim gugur (23 September), ke $-23,45^\circ$ titik balik matahari musim dingin (22 Desember). Harga bulanan sudut deklinasi ini ditunjukkan pada table 2.1

Ada beberapa sudut penting lainnya dalam perhitungan energy surya. Pada satu lokasi tertentu dengan garis lintang, posisi matahari dapat didefinisikan dalam bentuk sudut tinggi β_1 dan sudut azimuth α_1 . Sudut

tinggi β_1 adalah sudut antara sinar matahari dengan garis horizontal terhadap bumi.



Gambar 2.2 Orientasi bumi berkenaan dengan sinar matahari
(Ir Darwin Sitompul M.Eng)

Sudut azimuth α_1 ialah sudut antara proyeksi horizontal sinar matahari dengan garis batas selatan yang ditarik dengan arah searah jarum jam. Sudut-sudut ini dapat dihitung dengan menggunakan sudut garis lintang L , sudut deklinasi δ , dan sudut jam H , sebagai berikut :

$$\sin \beta_1 = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \quad (2.1)$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta_1} \quad (2.2)$$

Sudut jam H , seperti sudut azimuth sinar matahari, adalah positif bila lewat tengah hari dan negatif bila sebelum tengah hari. Ia dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$H = 0,25 [\text{jumlah menit sebelum (-) atau setelah (+) lewat tengah hari, AST}] \quad (2.3)$$

Harga α_1 dan β_1 ditabulasi dalam lampiran K sekaligus dengan harga isolasi surya yang langsung pada lintang yang berbeda. (Ir Darwin Sitompul M.Eng)

2.3 Pemanas Air Tenaga Surya

Pemanas air tenaga surya adalah sebuah teknologi yang tersedia menggunakan energi terbarukan untuk pemanas air konvensional, komponen utama pemanas air ini adalah kolektor. Kolektor merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengumpulkan energi matahari. Kolektor surya pada umumnya memiliki komponen-komponen utama, yaitu: (Duffie John A dan William A. Beckman, 1991)

1. Kaca Penutup

Kaca penutup berfungsi untuk meneruskan radiasi surya berupa gelombang pendek dan mencegah panas yang keluar dari kolektor ke lingkungan pada bagian atas.

2. Plat Absorber

Plat absorber berfungsi untuk menyerap radiasi surya dan mengkonversikan menjadi panas.

3. Pipa sirkulasi air

Pipa sirkulasi berfungsi untuk mengalirkan fluida pembawa energi pada absorber, sehingga pada fluida dan absorber terjadi perpindahan konveksi.

4. Isolator

Isolator berfungsi untuk memperkecil panas hilang dari kolektor ke lingkungan pada bagian belakang dan samping kolektor.

5. Kerangka (Frame)

Kerangka kolektor berfungsi sebagai struktur pembentuk dan penahan beban kolektor.



Gambar 2.3 Komponen kolektor surya plat datar

www.intisolar.com

Selain kolektor, komponen pemanas air tenaga surya adalah tabung penampung air, baik air yang akan disirkulasikan ke pipa maupun air hasil dari pemanasan. Untuk mencari volume tabung dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = \pi r^2 L_b$$

Dimana :

V = Volume tabung (m^3)

r = Jari-jari tabung (m)

L_b = Panjang tabung (m)

Kolektor surya dapat didefinisikan sebagai system perpindahan panas (heat transfer) yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energi utama. Pada dasarnya kalor (panas) adalah perpindahan energi kinetik dari suatu benda yang bersuhu lebih tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah. Secara induktif, makin besar kenaikan suhu suatu benda semakin besar juga kalor yang diserap. Selain itu, kalor yang diserap benda juga tergantung massa benda dan bahan penyusun benda. Secara matematik dapat ditulis sebagai berikut:

$$q = m.C_p.\Delta T$$

Dimana :

q = Kalor yang diserap atau dilepas benda (Joule)

m = Massa benda (kg)

C_p = Kalor jenis benda (J/kg.°C)

ΔT = Perubahan suhu (°C)

2.4 Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Langsung dan Tidak Langsung

2.4.1 Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Langsung

System langsung atau system loop terbuka mensirkulasikan air yang dipanaskan langsung melalui kolektor. System ini lebih murah dibandingkan dengan system tidak langsung dan menawarkan perpindahan panas yang baik dari kolektor ke tangki penyimpanan, namun memiliki kekurangan seperti :

1. Memberikan perlindungan panas yang kecil atau tidak ada.
2. Pada daerah dingin tidak memberikan perlindungan terhadap pembekuan.

System ini tidak dianggap cocok untuk cuaca dingin karena kolektor yang mudah rusak karena rusak akibat pembekuan air.

2.4.2 Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Tidak Langsung

System tidak langsung atau sistem loop tertutup menggunakan alat penukar panas yang memisahkan air dari fluida penghantar panas (heat transfer fluid) yang bersirkulasi melalui kolektor. Dua jenis fluida penghantar panas yang paling umum air dan anti beku yaitu campuran air yang biasanya menggunakan glikol propilen yang tidak beracun. Meskipun sedikit lebih mahal, system tidak langsung memberikan perlindungan terhadap pembekuan dan biasanya memberikan perlindungan terhadap kehilangan panas.

2.5 Sistem Aktif dan Sistem Pasif

➤ Sistem pasif

System aktif mengandalkan system yang berbasis konveksi panas untuk mensirkulasikan air atau fluida penukar panas dalam system. System pemanas air tenaga surya pasif hanya memerlukan biaya yang kecil dan pemeliharaan yang sangat rendah, namun efisiensi system pasif secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan system aktif.

➤ **Sistem Aktif**

System aktif menggunakan satu atau lebih pompa untuk mensirkulasikan air atau fluida penghantar panas dalam system. Meskipun sedikit lebih mahal, system aktif menawarkan beberapa keuntungan diantanya adalah :

1. Tangki penyimpanan dapat diletakkan lebih rendah dari kolektor, memungkinkan kebebasan dalam desain system dan memungkinkan tangki penyimpanan yang sudah ada.
2. Tangki penyimpanan dapat disembunyikan dari pandangan.

System aktif yang lebih modern memiliki pengendali elektronik yang menawarkan berbagai macam fungsi seperti modifikasi pengaturan yang mengontrol system, interaksi dengan listrik, fungsi keamanan, akses remote, dan menampilkan berbagai informasi seperti pembacaan suhu

2.6 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) ialah ilmu tentang perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energy panas itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga menjelaskan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu (Holman, 1983).

2.6.1 Konduksi

perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas melalui sebuah media seperti air, udara, tembaga dan lainnya. Di dalam benda – benda padat maka perpindahan yang terjadi dari temperatur tinggi ke rendah. Pada gas dan liquid, konduksi disebabkan oleh tabrakan (collisions) dan penyebaran (difusi) dari molekul selama pergerakan random. Pada solids, konduksi disebabkan oleh gabungan getaran molekul dalam sebuah *lattice* dengan penyaluran energi melalui elektron bebas. (J.P Holman, 1995:26)

$$Q = k.A \frac{dT}{dx}$$

Dimana :

Q = Laju perpindahan panas konduksi (W)

k = Konduktivitas termal (W/m°K)

A = Luas penampang (m²)

dT= Perubahan suhu (°K)

dx= Tebal dinding (m)

Tanda minus diselipkan agar memenuhi hukum termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala suhu. Besarnya koefisien perpindahan panas dalam aliran dinyatakan : (Frank Kreith:437)

$$h = \frac{(Nu.k)}{D}$$

Dimana :

D = Diameter pipa (m)

k = Konduktivitas termal (W/m°K)

Nu = Bilangan Nusselt

2.6.2 Konduksi Bidang Datar

Jika suatu dinding homogeny mempunyai tebal dinding (L) dan konduktivitas (K). Kedua permukaannya dipertahankan tetap konstan pada temperature T₁ dan T₂, maka laju perpindahan panas pada arah x menjadi : (Herry Suprianto.TM-2013)

$$Q_x = kA \left[\frac{T_2 - T_1}{L} \right]$$

Dimana :

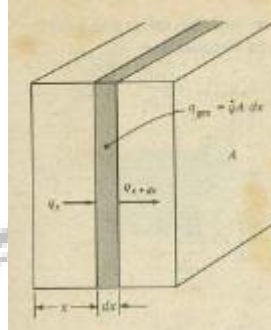
Q_x= Laju perpindahan panas (Watt)

k = Konduktivitas termal (W/m°K)

A = Luas penampang (m²)

L = Tebal dinding (m)

$T_1 - T_2 =$ Perbedaan temperature ($^{\circ}\text{K}$ atau $^{\circ}\text{C}$)

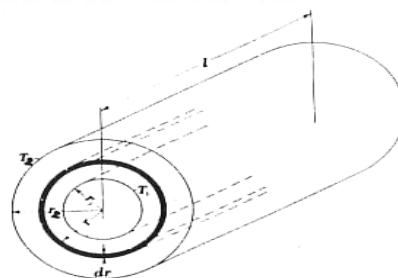


Gambar 2.4 (Konduksi bidang datar satu dimensi)
J.P Holman 1994 : 3

Dinding datar berlapis terdiri dari beberapa lapisan yang heterogen tersusun seri seperti gambar . Laju aliran panas persatuan luas pada konduksi keadaan mantap (steady state) adalah konstan dan sama untuk seluruh lapisan. Dengan persamaan untuk masing-masing lapisan dapat dituliskan berdasarkan persamaan sebelumnya yaitu: (Herry Suprianto.TM-2013)

➤ Konduksi Bidang Silinder

Suatu dinding berbentuk silinder (tabung) seperti gambar 2.3, mempunyai panjang L dengan jari-jari dalam r_1 dan jari-jari luar r_2 . didalam dinding terdapat lapisan berbentuk gelang (annular) dengan jari-jari r dan tebal dr dibatasi oleh dua permukaan isothermal silinder. Temperatur hanya bervariasi secara radial pada arah x . (Herry Suprianto.TM-2013)



Gambar 2.5 (Dinding Silinder Homogen)
Herry Suprianto.TM-2013

Berdasarkan hukum Fourier maka panas yang mengalir melalui lapisan per jam adalah:

$$Q = -k A \frac{dT}{dr}$$

$$Q = -k 2\pi r L \frac{dT}{dr}$$

$$dT = - \frac{Q}{k 2\pi L} \frac{dr}{r}$$

$$T = - \frac{Q}{k 2\pi L} \ln r + C$$

2.6.3 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat. Perpindahan panas konveksi dapat terjadi pada zat cair dan gas (Aip Saripudin, 2009). Perpindahan panas dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Panas yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan panas dalam partikel fluida ini. Kemudian partikel tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam fluida disebabkan karena perbedaan massa jenis zat, proses tersebut akan terus bersirkulasi. Secara hukum Newton tentang pendinginan laju perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan : (J.P Holman, 1995:12)

$$q = h A (T_w - T_{\infty})$$

dimana :

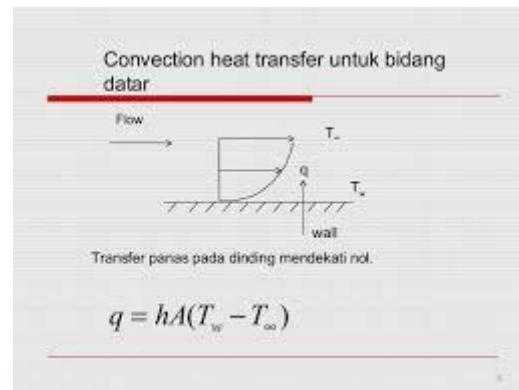
q = Laju perpindahan panas (Watt)

h = Koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot K$)

A = Luas permukaan benda (m^2)

T_w = Temperatur dinding ($^{\circ}K$)

T_{∞} = Temperatur fluida ($^{\circ}K$)



Gambar 2.6 (Perpindahan panas konveksi dari suatu plat)
(J.P Holman,1984:12)

Sesuai dengan hukum Newton tentang pendinginan, diperlukan suatu harga koefisien perpindahan panas konveksi (h). Harga $h=k/\sigma$, dimana (k) adalah konduktivitas termal dan (σ) adalah ketebalan seaput fluida (film). Ketebalan selaput fluida tergantung pada sifat-sifat aliran fluida pada aliran ini dipengaruhi oleh bilangan Reynold.

Konveksi dibagi menjadi dua macam, yaitu konveksi paksa dan konveksi bebas.

➤ Konveksi Bebas

Perpindahan panas dengan konveksi bebas (free convection) terjadi karena fluida bergerak secara alamiah dimana pergerakan fluida tersebut lebih disebabkan oleh perbedaan massa jenis fluida (densitas) akibat adanya variasi suhu pada fluida tersebut. Logikanya, kalau suhu fluida tinggi tentunya dia akan menjadi lebih ringan dan mulai bergerak keatas. Perpindahan panas seperti ini tergantung pada koefisien muai volume (β), koefisien muai volume dapat ditentukan dari tabel-tabel sifat fluida, untuk gas ideal koefisien itu dapat ditulis : (J.P Holman.1984:174)

$$\beta = \frac{1}{T}$$

dimana :

β = Koefisien muai volume

T = Temperatur absolute ($^{\circ}K$)

Bilangan Nusselt adalah rasio pindah panas konveksi dan konduksi normal terhadap batas dalam kasus pindah panas pada permukaan fluida. Bilangan Nusselt adalah satuan tak berdimensi yang dinamai menggunakan nama Wilhelm Nusselt. Komponen konduktif diukur dibawah kondisi yang sama dengan konveksi dengan kondisi fluida tidak bergerak.

$$N_u = \frac{h_c D}{k}$$

Dimana :

h_c = Koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot K$)

D = Diameter efektif fluida (m)

K = Konduktivitas termal fluida ($W/m^2 \cdot K$)

Pemilihan panjang karakteristik harus searah dengan ketebalan dari lapisan batas. Contoh dari panjang karakteristik misalnya diameter terluar dari silinder pada aliran yang mengalir diluar silinder, tegak lurus terhadap aksis silinder. Selain itu, panjang papan vertical terhadap konveksi alami yang bergerak keatas dan diameter bola yang berada didalam aliran konveksi juga merupakan panjang karakteristik. Untuk bangun yang lebih rumit, panjang karakteristik bisa dihitung dengan membagi volume terhadap luas permukaannya.

Untuk konveksi bebas, rata-rata bilangan Nusselt dinyatakan sebagai fungsi dari bilangan Rayleigh dan bilangan Prandtl dan untuk konveksi paksa rata-rata bilangan Nusselt adalah fungsi dari bilangan Reynold dan bilangan Prandtl. Hubungan empiris untuk berbagai geometri terkait konveksi menggunakan bilangan Nusselt didapat melalui eksperimen.

Angka Prandtl adalah bilangan tanpa dimensi yang merupakan fungsi dari sifat-sifat fluida. Bilangan Prandtl didefinisikan sebagai perbandingan viskositas kinematik terhadap difusitas termal fluida yaitu :

$$P_r = \left(\frac{c_p \mu}{k} \right)$$

Dimana :

C_p = Panas spesifik fluida ($J/kg \cdot K$)

μ = Viskositas fluida ($Kg \cdot dt/m^2$)

k = Konduktivitas termal (W/m²K)

$$\text{Angka Grashof : } Gr = \left(\frac{g \beta \rho^2 \Delta T x^2}{\mu^2} \right) = \left(\frac{g \beta \Delta T x^2}{\mu^2} \right)$$

$$\text{Angka Rayleigh : } Ra = Gr.Pr$$

Perkalian antara angka Grashof dan angka Prandtl merupakan angka Rayleigh. Angka grashof merupakan suatu kelompok tak berdimensi yang menggambarkan perbandingan gaya apung dengan gaya viskos didalam aliran konveksi bebas. Peranannya sama dengan angka Reynold dalam sistem konveksi paksa dan merupakan variable utama yang digunakan sebagai criteria transisi dari aliran laminar menjadi aliran turbulence. Untuk udara dalam konveksi bebas diatas plat vertical, angka grashof kritis ialah kira-kira $4 \cdot 10^8$. Untuk fluida dan tingkat turbulence dapat diamati pada nilai kira-kira 10^8 dan 10^9 .

➤ Konveksi Bebas Bidang Silinder

Koefisien perpindahan panas konveksi bebas dari silinder horizontal dapat menggunakan persamaan umum sebagai berikut:

$$Nu_f = C (Gr_f.Pr_f)^m$$

Dimana subskrip f menunjukkan bahwa sifat-sifat untuk grup tak berdimensi dievaluasi pada suhu film (T_f).

$$T_f = \frac{T_w - T_\infty}{2}$$

Nilai konstanta (C) dan eksponen (m) tergantung pada jangkauan angka $Gr.Pr$ nilai tersebut bisa dilihat dari lampiran A-3 untuk bidang silinder.

$$\text{Untuk } 10^4 < Gr.Pr < 10^9$$

$$Nu = 0,53 (Gr.Pr)^{1/4}$$

$$\text{Untuk } 10^9 < (Gr.Pr) < 10^{12}$$

$$Nu = 0,13 (Gr.Pr)^{1/3}$$

Persamaan koefisien perpindahan panas dari silinder horizontal pada aliran laminar dengan jangkauan $10^{-6} < (Gr.Pr) < 10^9$ adalah sebagai berikut :

$$Nu = 0,36 + \frac{0,518 (Gr.Pr)^{1/4}}{\{1 + (0,559/Pr)^{9/16}\}^{4/9}}$$

Sedangkan untuk jangkauan angka $G_r.P_r$ yang lebih luas, yaitu pada $10^{-5} < G_r.P_r < 10^{12}$ adalah

$$N_u = 0,60 + 0,387 \left\{ \frac{Gr.Pr}{1 + (0,559/Pr)^{16/9}} \right\}^{1/4}$$

Koefisien perpindahan panas dari silinder horizontal kelogram cair dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$N_u = 0,53 (G_r.P_r)^{1/4}$$

➤ Konveksi Bebas Pada Ruang Tertutup

Perpindahan kalor pada ruang tertutup horizontal menyangkut duasituasi yang berbeda. Jika plat atas berada pada suhu yang lebih tinggi dari plat bawah fluida yang densitasnya lebih rendah berada diatas yang densitasnya lebih tinggi, dan tidak terjadi konveksi. Dalam hal ini, perpindahan kalor melintas ruang itu berlangsung melalui konduksi semata-mata, dan $N_u\delta = 1,0$ dimana δ ialah jarak pisah antara kedua plat. Situasi yang kedua, terjadi apabila plat bawah lebih tinggi suhunya dari palt bagian atas. Untuk nilai $Gr\delta$ kurang dari 1700 masih terlihat konduksi murni, $N_u\delta = 1,0$. Setelah konveksi mulai terjadi, maka terbentuklah pola sel-sel heksagonal seperti pada gambar 2.5.(J.P Holman.1984:291)

Si-alamiah transien dalam ruang tertutup silinder vertical atau horizontal dapat dihitung dengan (J.P Holman.1984:292)

$$N_{uf} = 0,55 (G_{rf}.P_{rf})^{1/4}$$

Untuk jangkauan $0,75 < L/d < 2,0$. Untuk angka grashof digunakan panjang silinder (L). hasil percobaan untuk konveksi bebas dalam ruang tertutup tidak selalu cocok satu sama lain, tetapi semua itu dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut (J.P Holman.1984:292)

$$\frac{k_e}{k} = C (Gr_{\delta}.P_r)^n \left(\frac{L}{\delta} \right)^m$$

Nilai konstanta C, n, dan m untuk berbagai situasi dapat dilihat dalam lempiran A3. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk tujuan perencanaan apabila ada data untuk geometri atau fluida yang dimaksud. Untuk memberikan eksponen karakteristik 1/4 dan 1/3 masing-masing untuk konveksi bebas

ragam laminar dan turbulence. Untuk ruang annulus perpindahan panas didasarkan atas (J.P Holman.1984:293)

$$q = \frac{2\pi k L \Delta T}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}$$

dimana L adalah panjang annulus dan jarak celah $\delta = r_o - r_i$

➤ Konveksi Paksa

Konveksi paksa merupakan suatu kejadian dimana aliran panas dipaksa dialirkan ditempat yang dituju dengan menggunakan bantuan alat.

➤ Aliran Dalam Pipa

Energi total yang ditambahkan dapat dinyatakan dengan beda suhu rata-rata:

$$q = \dot{m} C_p (T_{b2} - T_{b1})$$

dengan syarat C_p sepanjang aliran itu cukup tetap. Kalor dq yang ditambahkan dalam diferensial dx dinyatakan dengan beda suhu rata-rata satu dengan koefisien perpindahan kalor. (J.P Holman.1984:229)

$$dq = \dot{m} C_p dT_b = h (2\pi r) dx (T_w - T_b)$$

dimana T_w dan T_b adalah masing-masing suhu dinding dan suhu rata-rata pada posisi x tertentu. Perpindahan panas total dapat pula dinyatakan sebagai

$$q = hA (T_w - T_b)$$

untuk aliran turbulence yang sudah berkembang penuh (fully developed turbulent flow) dalam pipa licin dengan angka prandtl antara 0,6 sampai 100 dan beda temperature antara dinding pipa dan fluida tidak terlalu besar, oleh dittus dan Boelter disarankan menggunakan persamaan berikut.(J.P Holman.1984:229)

$$N_u = 0,023 (Re)^{0,8} (P_r)^n$$

Nilai eksponen $n = 0,4$ (untuk pemanasan)

Nilai eksponen $n = 0,3$ (untuk pendinginan)

Sifat-sifat fluida pada persamaan diatas ditentukan pada temperature borongan yaitu temperature rata-rata dari aliran fluida didalam pipa.

2.6.4 Perpindahna Panas Radiasi

Perpindahan panas secara pancaran atau radiasi adalah perpindahan panas dari suatu benda ke benda lain dengan jalan melalui gelombang-gelombang elektromagnetis tanpa tergantung kepada ada atau tidaknya media atau zat diantara benda yang menerima pancaran panas tersebut. Berlangsungnya perpindahan panas secara radiasi dari suatu permukaan ke permukaan lain yang mempunyai temperature yang lebih rendah dapat dibagi menjadi :

- Pengubahan energi dalam zat, dimana energi termal dari sumber panas berubah dalam bentuk energi gerak gelombang elektromagnetik.
- Energi gerak gelombang elektromagnetik diteruskan ke permukaan benda yang bertemperatur lebih rendah.
- Energi gerak gelombang elektromagnetik diubah kembali ke bentuk energi termal melalui penyerapan pada benda dingin.

Radiasi elektromagnetik terdiri atas beberapa jenis, dimana radiasi termal adalah proses dimana permukaan benda memancarkan energi panas dalam bentuk elektromagnetik, radiasi termal dihasilkan ketika panas dari pergerakan partikel bermuatan dalam atom diubah menjadi radiasi elektromagnetik. Salah satu yang erat kaitannya dalam kehidupan kita sehari-hari adalah radiasi sinar matahari ke bumi, yang bisa dianalogikan matahari memancarkan (energi radiasi) yang sebagian diserap oleh tanah, sebagian tembus atau diserap dan sebagian lagi dipantulkan keluar angkasa. Besarnya prosentase penyerapan dipengaruhi oleh suhu, warna benda, (hukum radiasi plank), hukum Stefan Boltzman memberikan intensitas panas. Radiasi termal ini merambat dengan kecepatan cahaya (3×10^{10} m/s). kecepatan ini sama dengan hasil perkalian antara panjang gelombang dengan frekuensi radiasi. (J.P Holman.1984:309)

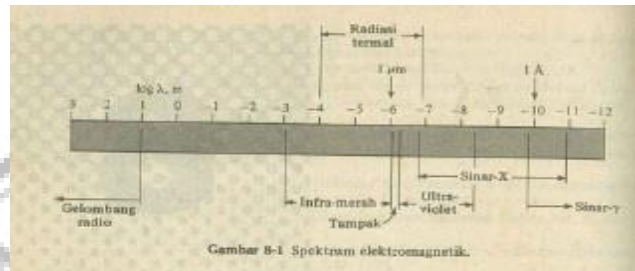
$$c = \lambda \cdot V$$

dimana :

c = Kecepatan cahaya (m/s)

λ = Panjang gelombang (μm)

V = Frekuensi (Hz)



Gambar 2.7 (Spektrum elektromagnetik)

J.P Holman 1994 : 342

Radiasi termal terletak dalam jangkauan panjang gelombang kira-kira 0,1 sampai 100 μm . sedangkan cahaya tampak terletak pada spectrum yang sangat sempit kira-kira 0,35 sampai 0,75 μm . sebagian spectrum elektromagnetik di tunjukan pada gambar 2.2. perambatan radiai termal berlangsung dalm bentuk kuantum-kuantum yang diskrit atau farik, setiap kuantum menurut postulat planck setiap kuantum mengandung energi sebesar : (J.P Holman.1984:309)

$$E = h \cdot \nu$$

Dimana h adalah konstanta planck yang nilainya $h=6,625 \times 10^{-34}$ Js

Setiap kuantu dapat kita anggap sebagai suatu partikel yang mempunyai energi, massa dan momentum, seperti halnya gas. Jadi pada hakikatnya, radiasi dapat digambarkan sebagai “gas photon” yang dapat mengalir dari suatu tempat ketempat yang lain. Dengan menggunakan hubungan antara massa dan energi dapatlah kita turunkan suatu persamaan untuk massa dan energi dari “partikel” yaitu :(J.P Holman.1994:309)

$$E = mc^2 = h\nu$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

$$\text{Momentum} = c \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h\nu}{c}$$

Dimana :

E = Besar energi (Watt)

h = Konstanta planck $h=6,625 \times 10^{-34}$ Js

v = Kecepatan cahaya (m/s)

m = Massa zat (kg/s)

Sifat-sifat Radiasi

Bila energi radiasi menimpa permukaan suatu benda akan mengalami tiga proses yaitu:

➤ Reflektivitas

Reflektivitas adalah ratio antara radiasi yang di pantulkan dengan radiasi yang diterima.

➤ Absorpsivitas

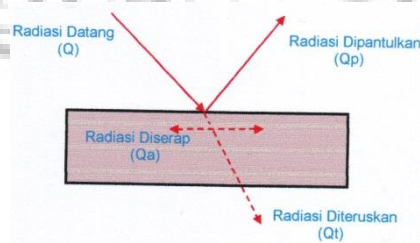
Absorpsivitas adalah kemampuan suatu material untuk menyerap radiasi yang terjadi pada permukaan material.

➤ Transmisivitas

Transmisivitas adalah kemampuan suatu material untuk meneruskan radiasi matahari yang terjadi pada permukaan material.

Pada gambar 2.2 fraksi yang dipantulkan dinamakan reflektivitas (ρ), fraksi yang diserap absorpsivitas (α) dan fraksi yang diteruskan transmisivitas (τ), sehingga didapat suatu hubungan. (J.P Holman.1984:311)

$$Q = Q_{\alpha} + Q_{\rho} + Q_{\tau}$$



Gambar 2.8 (Radiasi pada permukaan)
J.P Holman 1994 : 311

Kebanyakan benda padat tidak meneruskan radiasi termal, sehingga transmisivitas dianggap nol :

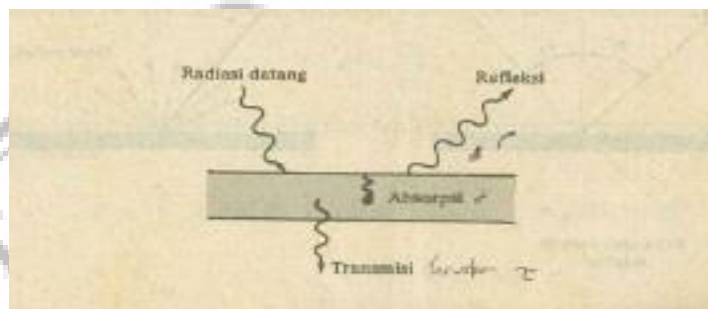
$$\alpha + \rho = 1$$

Dimana :

$\alpha = \frac{Q_\alpha}{Q} =$ angka penyerapan (absorpsivitas) atau derajat kehitaman

$\rho = \frac{Q_\rho}{Q} =$ angka pemantulan (refleksivitas)

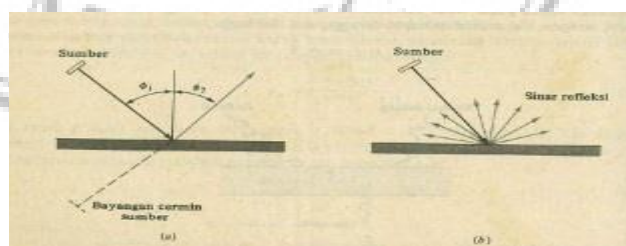
$\tau = \frac{Q_\tau}{Q} =$ angka penebusan (transmisivitas)



Gambar 2.9 (Radiasi pada permukaan)

J.P Holman 1994 : 343

Ada dua fenomena refleksi yang dapat diamati bila radiasi menimpa suatu permukaan. Jika sudut jatuhnya sama dengan sudut refleksi, maka dikatakan refleksi specular, dilain sisi apabila berkas yang jatuh itu tersebar secara merata kesegala arah sesudah refleksi, maka refleksi itu disebut dengan difusi atau baur. Kedua jenis refleksi bisa dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini : (J.P Holman,1984:309)



Gambar 2.10 (Spekular)

J.P Holaman 1994 : 344

Perhatikan bahwa refleksi specular memberikan bayangan cermin sumber itu pada pengamat. Sebuah cermin tertentu bisa bersifat specular untuk keseluruhan pada jangkauan gelombang radiasi termal. Biasanya,

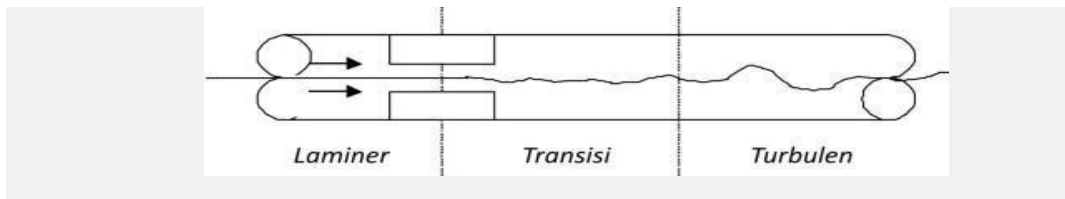
permukaan kasar lebih menunjukkan sifat difusi daripada permukaan yang mengkilap(J.P Holaman,1984:311)

2.7 Tinjauan Mekanika Fluida

Mekanika fluida adalah ilmu yang mempelajari tipe-tipe aliran fluida dalam medium yang berbeda-beda. Untuk aliran dalam pipa terdiri dari beberapa variabel yang saling berhubungan, antara lain : kerugian energi, laju aliran, dan parameter pipa (ukuran panjang, jumlah pipa sambungan, dan lain-lain). Aliran dalam pipa dapat di klasifikasikan dalam beberapa jenis seperti : laminar, transisi, dan turbulence.

➤ Aliran laminar dan aliran turbulen

Ditinjau dari jenis aliran,dapat diklasifikasikan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran fluida dikatakan laminar jika lapisan fluida bergerak dengan kecepatan yang sama dan dengan lintasan partikel yang tidak memotong atau menyilang, atau dapat dikatakan bahwa aliran laminar di tandai dengan tidak adanya ketidak beraturan atau fluktuasi di dalam aliran fluida. Karena aliran fluida pada aliran laminar bergerak dalam lintasan yang sama tetap maka aliran laminar dapat diamati. Partikel fluida pada aliran laminar jarang dijumpai dalam praktek hidrolika. Sedangkan aliran dikatakan turbulen, jika gerakan fluida tidak lagi tenang dan tunak (berlapis atau laminar) melainkan menjadi bergolak dan bergejolak (bergolak atau turbulen). Pada aliran turbulen partikel fluida tidak membuat fluktuasi tertentu dan tidak memperlihatkan pola gerakan yang dapat diamati. Aliran turbulen hampir dapat dijumpai pada praktek hidrolika. Dan diantara aliran laminar dan turbulen terdapat daerah yang dikenal dengan daerah transisi.



Gambar 2.1.1 Skema Aliran Dalam Pipa

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia ($v\rho$) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran yang berbeda, untuk menentukan apakah aliran itu laminar atau turbulence. Bilangan Reynolds merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida dan digunakan seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain, untuk memberikan kriteria untuk menentukan dynamic similitude. Bilangan Reynolds dapat dirumuskan sebagai berikut :

(Mekanika Fluida Jilid 1, Ir.Made Gunadiarta,MT)

$$Re = \frac{vL}{\mu}$$

Dimana :

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

L = Panjang karakteristik (m)

μ = Viskositas dinamis fluida (kg/m.s)

ρ = Kerapatan (densitas) fluida (kg/m³)

Hubungan bilangan Reynolds dengan penentuan apakah aliran suatu fluida yang kita tinjau memiliki profil yang laminar, turbulence, atau transisi dapat diketahui dengan:

- Apabila reynolds number didapatkan hasil <2300 maka aliran tersebut dinyatakan sebagai aliran laminar.
- Apabila Reynolds number didapatkan hasil $2300 < Re < 4000$ maka aliran tersebut dinyatakan sebagai aliran transisi.
- Apabila Reynolds number didapatkan hasil >4000 maka aliran tersebut dinyatakan sebagai aliran turbulence.